مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، شماره یک، فروردین ماه ۱۴۰۱(۱۱-۱)

تأثیر پساب تصفیه خانه فاضلاب دلیجان و آب چاه بر ترسیب کربن خاک و رشد درختان پهن‌برگ

ضیاء آزدو[۱]

فاطمه احمدلو[۲*]

fatemeh_ahmadloo@yahoo.com

غلامرضا گودرزی[۳]

علی فرمهینی فراهانی[۴]

هاشم کنشلو[۵]

تاریخ دریافت: ۹۷/۴/۴ **تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۲۸**

چکیده

زمینه و هدف: استفاده از پساب تصفیه شده می‌تواند وسیله‌ای برای جبران کمبود آب و کنترل و کاهش برداشت از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق باشد. هدف این مطالعه، تعیین اثر آبیاری با پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دلیجان و آب چاه به مدت ۵ سال روی ترسیب کربن خاک و رشد ۷ گونه درختی پهن برگ می‌باشد.

روش بررسی: در تحقیق حاضر، پس از آماده سازی زمین، نهال‌ها به‌صورت گروهی در سه تکرار با فواصل ۳×۳ متر در اسفند ۱۳۹۰ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی کشت شدند. برای بررسی تأثیر نوع آبیاری روی ترسیب کربن آلی خاک، در سال پنجم با حفر پنج پروفیل به عمق ۹۰ سانتی‌متر در زیر تاج درختان از سه عمق نمونه‌برداری خاک انجام شد. در ارزیابی رشد گونه‌های درختی پهن‌برگ در

۱- کارشناس ارشد پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران

۲- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران

۴- مربی پژوهشی، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران

۵- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

پایان سال پنجم، مشخصه‌های ارتفاع، قطر یقه، قطر تاج پوشش، مساحت تاج پوشش، درصد زنده‌مانی و درصد شادابی مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج بررسی میزان ترسیب کربن آلی خاک در عمق‌های مختلف خاک نشان داد که آبیاری با پساب فاضلاب سبب افزایش بیشتر کربن آلی خاک شده که بیشترین میزان آن در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متری خاک می‌باشد. در بین گونه‌های کاشته‌شده با توجه به مشخصه‌های مورد اندازه‌گیری، در آبیاری با آب چاه، گونه *Ailanthus altissima* از بیشترین میزان ارتفاع و *Melia azedarach* از بیشترین میزان قطر یقه، قطر تاج پوشش، مساحت تاج پوشش و درصد شادابی برخوردار است. در آبیاری با پساب، گونه *Robinia pseudoacacia* از بیشترین میزان ارتفاع، *Elaeagnus angustifolia* از بیشترین میزان قطر یقه، *M. azedarach* از بیشترین میزان قطر تاج پوشش و مساحت تاج پوشش و *M. azedarach* و *Celtis australis* از بیشترین میزان شادابی برخوردارند. کمترین درصد زنده‌مانی مربوط به گونه *Acer negundo* در هر دو نوع آبیاری با آب چاه و پساب فاضلاب می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری: اثر اصلی نوع آبیاری اختلاف معنی‌دار آماری را نشان نداد. گونه *A. negundo* نسبت به شرایط آب و خاک منطقه حساس بوده و مناسب کاشت نمی‌باشد. گونه *M. azedarach* از سازگارترین گونه‌ها در تحقیق حاضر می‌باشد که برای کشت در عرصه مزبور پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ترسیب کربن آلی خاک، درختان پهن‌برگ، درصد زنده‌مانی، دلیجان، عمق خاک.

J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No. 1, April, 2022

The effect of Delijan reclaimed wastewater and well water on soil carbon sequestration and growth of hard wood trees

Zia Azdoo[1]
Fatemeh Ahmadloo[2*]
fatemeh_ahmadloo@yahoo.com
Gholamreza Goodarzi[3]
Ali Farmahini Farahani[4]
Hashem Keneshlo[5]

Admission Date:December 19, 2018 Date Received: June 25, 2018

Abstract

Background & Objective: The reclaimed wastewater can be used as tool for compensation of water scarcity and control and reduce harvesting from deep and semi deep wells. Investigation on the effect of irrigation with Delijan reclaimed wastewater and well water for 5 years on soil carbon sequestration and growth of 7 hard woods trees species was the purpose of this study.

Method: In the present study, seedlings were cultivated after ground preparing as a group at 3 × 3 m. spacing based on a randomized complete block design with three replications in March 2011. For determination of the effect irrigation type on soil carbon sequestration, in the fifth year, soil sampling was taken by drilling at soil five profiles from tree consecutive depths (0-30, 30-60 and 60-90 cm) under the crown of the trees. In evaluating the growth of hardwood tree species at the end of the fifth year, characteristics of height, collar diameter, canopy diameter, canopy cover area, percentage of survival and percentage of vitality were measured.

Findings: The results of the study on the amount of soil carbon sequestration in different depths showed that irrigation with reclaimed wastewater increased the organic carbon content of the soil, which it's the highest content is in the depth of 60-90 cm of soil. Among the species planted, in irrigation with well water, the highest height was in species of *Ailanthus altissima* and collar diameter, canopy diameter, canopy cover area, and percentage of vitality were in species of *Melia azedarach*. In irrigation with reclaimed wastewater, there were the highest height in species of *Robinia pseudoacacia*, diameter of collar in species of *Elaeagnus angustifolia*, canopy cover diameter and

1- Research Expert, Research Division of Natural Resources, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran
2- Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. *(*Corresponding Authors*)
3- Assistant Prof., Research Division of Natural Resources, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran
4- Senior Research Expert, Research Division of Natural Resources, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran
5- Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

canopy cover area in species of *M. azedarach* and vitality in two species of *M. azedarach* and *Celtis australis*. There were the lowest percentage of survival in species of *Acer negundo* in both of irrigation system.

Discussion and Conclusions: The main effect of irrigation type did not show significant statistical difference. Species of *A. negundo* was more susceptible to water supply and soil conditions and was not suitable for planting in this area. Species of *M. azedarach* is the most consistent in the present study.

Keywords: Soil organic carbon sequestration, Hard wood trees, Percentage of survival, Delijan, Soil depth.

مقدمه

استفاده مجدد از فاضلاب‌های تولیدی در امر آبیاری می‌تواند یک راهبرد مهم برای کاهش فشار روی منابع آب شیرین، توسعه فضای سبز و همچنین دفع سالم زیست محیطی و اقتصادی فاضلاب باشد که با توجه به تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آبی می‌تواند در افزایش بهره‌وری آب تأثیرگذار باشد. پساب فاضلاب دارای عناصر غذایی مورد نیاز گیاه هم‌چون ازت، فسفر، پتاسیم و عناصر کم‌مصرف مانند آهن، روی و منگنز است که در حالت معمولی آلوده کننده بالقوه آب‌های جاری محسوب می‌شوند. صالحی و همکاران بیان کردند غلظت عناصر تغذیه‌ای در فاضلاب بیشتر از عرصه آبیاری شده با آب معمولی است ولیکن می‌توان آن را در جنگلکاری برای تولید چوب و توسعهٔ فضای سبز به‌کار برد (۱). کاربرد پساب در طولانی‌مدت به‌منظور جنگلکاری در اراضی بایر و تخریب شده و مدیریت بهینهٔ آن، اثر زیادی بر افزایش ماده آلی خاک ترسیب کربن خاک و کاهش گازهای گلخانه‌ای دارد (۲). ترسیب کربن خاک بخش مهمی از ترسیب کربن در اکوسیستم خشکی است و تأثیر شدیدی بر CO_2 اتمسفری دارد (۳). اگرچه بیشتر بررسی‌ها روی ترسیب کربن توسط جنگلکاری‌ها انجام شده است. جک سان و همکاران در سال ۲۰۰۲ تأثیر جنگلکاری بر ترسیب کربن را در منطقه‌ای از آمریکا با بارندگی حدود ۶۶۰-۲۳۰ میلی‌متر بررسی کرده و مشاهده نمودند که ذخیره کل کربن اکوسیستم با جنگلکاری از ۲/۹ تن در هکتار به ۱۰/۱ تن در هکتار افزایش یافته است (۴). در موفقیت جنگلکاری‌ها انتخاب صحیح گونه‌های گیاهی سازگار و تأمین منابع آب ارزان قیمت جهت استقرار آنها از طرف دیگر، امری ضروری است. بررسی‌های استوارت و همکاران (۵) و فیلیپس و همکاران (۶) روی کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.) و هوپمنس و همکاران (۷) روی *Eucalyptus grandis*، *E. saligna* و *Populus deltoides* × *P. nigra* افزایش میزان رشد و تولید چوب درختان در رویشگاه‌های آبیاری شده با فاضلاب را به‌علت محتوای مواد غذایی بیشتر نشان می‌دهد. سینگ و بهاتی در سال ۲۰۰۳ با مطالعه روی *Dalbergia sissoo* Roxb. (۸) و سینگ و بهاتی در سال ۲۰۰۴ روی گونه *Acacia nilotica* (L.) Del. (۹) و صالحی و همکاران در سال ۱۳۸۷ روی *P. eldarica* (۱) نشان دادند که استفاده از فاضلاب شهری سبب افزایش رشد، تولید زی‌توده و درصد تاج پوشش گیاهی و همچنین غلظت عناصر تغذیه‌ای نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم می‌شود که علت آن را غلظت بالای عناصر ماکرو و میکرو در فاضلاب شهری ذکر کردند. راد و همکاران در سال ۱۳۹۳ سازگاری ۸ گونه و جمعیت‌های *Eucalyptus* را با استفاده از پساب شهری و صنعتی در شرایط تصفیه‌خانه فاضلاب یزد به‌مدت ۲ سال بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که بیشترین درصد استقرار در پایان سال دوم در گونه‌های *E. camaldulensis* (41-zh)، *E. sargentii* و *E. microtheca* به‌ترتیب با ۹۸/۶، ۹۵/۱ و ۹۲/۴٪ و بیشترین میزان رشد در گونه *E. camaldulensis* وجود داشته است. گونه‌های *E. rubida* (166-sh)، *E. saligna* و *E. viminalis* به‌دلیل رشد سریع به‌عنوان گونه‌های برتر در جنگلکاری و آبیاری با پساب معرفی شدند (۱۰).

در این راستا، شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک منطقه دلیجان و کاهش ذخایر سفره‌های آب زیرزمینی منطقه و نیاز به توسعهٔ فضای سبز، ضرورت استفاده بهینه از همه منابع آب را فراهم می‌سازد. در تحقیق حاضر، میزان ترسیب کربن تحت تأثیر نوع آبیاری در عمق‌های مختلف خاک و ۵ سال پس از جنگلکاری تعیین و گونه‌هایی که بیشترین رویش را تحت شرایط آبیاری با پساب داشته‌اند معرفی شده است.

روش بررسی

مشخصات جغرافیائی مکان اجرای تحقیق

محل اجرای این بررسی در اراضی تصفیه‌خانه آب و فاضلاب شهرستان دلیجان با مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱۴۹۲ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد. منطقه با روش آمبرژه دارای اقلیم خشک سرد و میانگین بارندگی سالیانه ۱۷۸/۴ میلی‌متر می‌باشد.

تجزیه شیمیایی پساب

تحقیق حاضر در اراضی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرستان دلیجان به مساحت یک هکتار به اجرا در آمد. فرآیند تصفیه فاضلاب دلیجان به روش برکه تثبیت می‌باشد. نمونه‌برداری از پساب از ابتدای فروردین ۹۴ به مدت ۲۴ ماه انجام شد که برداشت نمونه در هر ماه با انتخاب ۳ روز در ابتدا، وسط و انتهای هر ماه انجام می‌گرفت. نمونه‌های آب برای تجزیه و تحلیل عناصر به آزمایشگاه انتقال یافت. نتایج تجزیه شیمیایی پساب مورد استفاده در آبیاری درختان و میزان استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) در جدول ۱ آورده شده است. جدول ۱ نشان می‌دهد که تمامی پارامترهای مورد بررسی در تجزیه شیمیایی پساب فاضلاب برای آبیاری درختان به جز پارامتر BOD5 کل با میزان استاندارد سازمان بهداشت جهانی برای آبیاری درختان همخوانی دارد.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی پساب مورد استفاده در آبیاری درختان و مقایسه آن با میزان استاندارد سازمان بهداشت جهانی

Table 1. The results chemical analysis of sewage water used in irrigation of trees and comparing it with the standard of the World Health Organization

پارامترها	پساب	استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO)	پارامترها	پساب	استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO)
اسیدیته	۸/۰۳	۶/۸-۵/۵	کلرور ($mg\ L^{-1}$)	۸۲/۲۷	۴۰۰
نسبت جذب سدیم	۱/۵	۹	فسفات ($mg\ L^{-1}$)	۱۰/۴۳	۲۰
هدایت الکتریکی (dS/m)	۱/۷۳	۰/۳-۷	سولفات ($mg\ L^{-1}$)	۷۶/۶۳	۱۰۰
کل جامدات محلول ($mg\ L^{-1}$)	۷۷۶/۵۴	۵۰۰-۲۰۰۰	فلوراید ($mg\ L^{-1}$)	۰/۵۲	۱/۵
کل جامدات معلق ($mg\ L^{-1}$)	۸۶/۴۵	۱۰۰	قلیائیت ($mg\ L^{-1}$)	۵۴۱/۶۵	۶۰۰
کلسیم ($mg\ L^{-1}$)	۱۰۷/۷۶	۲۵۰	COD کل ($mg\ L^{-1}$)	۲۰۲/۵	۲۰۰
منیزیم ($mg\ L^{-1}$)	۳۲/۲۵	۵۰	BOD5 کل ($mg\ L^{-1}$)	۱۳۰	۱۰۰
نیتریت ($mg\ L^{-1}$)	۲/۸۱	۱۰	کلیفرم مدفوعی (MPN/100ml)	۱۱۷/۸۲	۴۰۰
آمونیاک ($mg\ L^{-1}$)	۴۲/۵	۵۰	کلیفرم کل (MPN/100ml)	۱۴۷/۲۹	۱۰۰۰
سختی کل ($mg\ L^{-1}$)	۴۰۲/۰۸	۵۰۰			

کاشت گونه‌های درختی

ابتدا ۷ گونه درختی پهن‌برگ شامل افرا (*Acer negundo* L.)، اقاقیا (*Robinia pseudoacacia* L.)، زبان گنجشک (*Fraxinus rotundifolia* Mill.)، زیتون تلخ (*Melia azedarach* L.)، سنجد (*Elaeagnus angustifolia* L.)، آیلان (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) و داغداغان (*Celtis australis* L.) انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. تحقیق حاضر در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با تیمارهای نوع آبیاری و گونه درختی در سه تکرار به‌مدت ۵ سال صورت گرفت. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق و تسطیح انجام و چاله‌هایی به ابعاد ۷۰×۷۰ سانتی‌متر و به وسیله نهرکن جوی پشته‌هایی با فاصله ۳ متر ایجاد گردید. هر بلوک اختصاص به یک گونه داشته که در آن ۲۵ اصله نهال تهیه شده از اداره کل منابع طبیعی استان مرکزی و استان لرستان با ابعاد یکسان به‌صورت گروهی در سه تکرار با فواصل ۳×۳ متر در اسفند ۱۳۹۰ کشت شدند. نهال‌های کاشته شده در دو عرصه جنگل‌کاری با استفاده از تیمارهای آب چاه و پساب تصفیه شده فاضلاب هفته‌ای یک‌بار آبیاری شدند. عملیات نگهداری از جمله وجین علف‌های هرز در طی سال به‌طور منظم انجام گرفت. از سال دوم کاشت، آماربرداری مشخصه‌های کمی و کیفی درختان از ۹ نهال میانی (۳×۳) انجام گردید.

ارزیابی ترسیب کربن خاک

برای تأثیر نوع آبیاری روی ترسیب کربن خاک، در سال پنجم کاشت گونه‌ها با حفر پنج پروفیل به عمق ۹۰ سانتی‌متر در زیر تاج درختان از سه لایه ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری و از هر تیمار آبیاری، نمونه‌برداری خاک توسط اوگر انجام شد. سپس نمونه‌های هر عمق با هم مخلوط و پس از تعیین وزن مخصوص ظاهری نمونه‌های خاک چهار تکرار، ترسیب کربن آلی خاک بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد (معادله ۱).

$$Cs= 10000*OC\ (\%)*WS*D \quad (۱)$$

Cs = مقدار ترسیب کربن آلی (کیلوگرم در هکتار)، OC%= درصد کربن آلی، WS= وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و D= عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر)

ارزیابی رشد گونه‌های درختی پهن‌برگ

پارامترهای مورد اندازه‌گیری در پایان سال پنجم شامل ارتفاع، قطر یقه، قطر تاج پوشش (با اندازه‌گیری دو قطر عمود بر هم از اقطار بزرگ و کوچک تاج درخت)، مساحت تاج پوشش، درصد زنده‌مانی (دو بار در سال، پایان دوره گرما و پایان دوره سرما) و درصد شادابی (۱۱) بوده است. اندازه‌گیری ارتفاع و قطر تاج پوشش به‌وسیله شاخص مدرج بر حسب سانتی‌متر و قطر یقه به‌وسیله کولیس با دقت سانتی‌متر انجام گرفت. آفات و بیماری‌ها در هیچ یک از گونه‌ها مشاهده نشد به همین دلیل این مشخصه در نتایج آورده نشد.

روش تجزیه و تحلیل آماری

مقایسه ترسیب کربن عمق‌های مختلف خاک تحت تأثیر نوع آبیاری و ۵ سال پس از جنگلکاری با استفاده از آزمون تجزیه واریانس دو طرفه انجام شد. با توجه به نرمال بودن و همگنی واریانس داده‌ها، برای تعیین اختلاف آماری داده‌های رشد درختان از آزمون تجزیه واریانس دو طرفه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن و به‌کارگیری نرم افزار SPSS انجام پذیرفت.

یافته‌ها

مقایسه ترسیب کربن در عمق‌های مختلف خاک تحت تأثیر نوع آبیاری

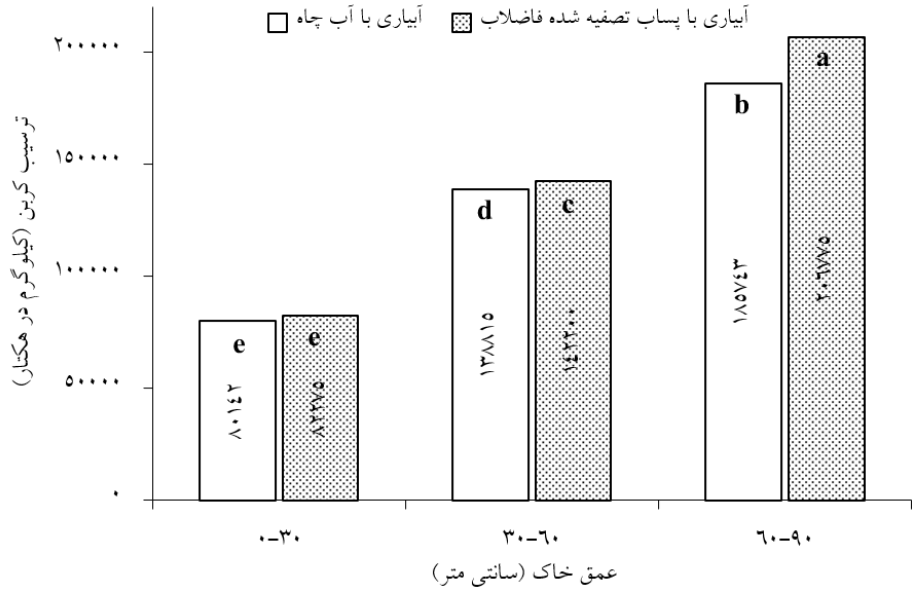
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی دوره آبیاری و عمق خاک و اثر متقابل این دو عامل بر میزان ترسیب کربن آلی خاک معنی‌دار است (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس میزان ترسیب کربن آلی خاک تحت تأثیر نوع آبیاری، عمق‌های مختلف خاک و اثر متقابل آنها

Table 2. Analysis of variance of the amount of soil organic carbon sequestration influenced by irrigation type, different depths of the soil, and their interaction effects

منابع تغییرات	بلوک	دوره آبیاری	عمق خاک	دوره آبیاری× عمق خاک	خطای آزمایش
میانگین مربعات	۳۴۹۴۰۵۳۶۵۳۰۰/۵	۳۵۲۴۶۰۱۰۰/۰۶	۱۹۸۶۱۱۰۳۶۵۳/۱۷	۱۶۷۵۳۶۳۴۶/۰۶	۱۷۶۲۶۳۳/۵
F	۱۹۸۲۲۹/۱۶**	۱۹۹/۹۶**	۱۱۲۶۷/۸۶**	۹۵/۰۵**	-

نتایج بررسی میزان ترسیب کربن آلی خاک تحت تأثیر نوع آبیاری در عمق‌های مختلف خاک نشان داد که آبیاری با پساب فاضلاب سبب افزایش بیشتر کربن آلی خاک شده که بیشترین میزان آن در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متری خاک می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- میزان ترسیب کربن آلی خاک تحت تأثیر نوع آبیاری در عمق‌های مختلف خاک و ۵ سال پس از جنگلکاری

Figure 1. The amount of soil organic carbon sequestration influenced by irrigation type at different depths of the soil and 5 year after the afforestation

بررسی مشخصه های کمی و کیفی گونه ها

نتایج تجزیه واریانس مشخصه‌های کمی و کیفی گونه‌های کشت شده در اراضی تصفیه خانه آب و فاضلاب دلیجان پس از ۵ سال نشان می‌دهد که اثر اصلی نوع گونه در تمامی مشخصه‌های مورد بررسی از لحاظ آماری معنی‌دار است ولیکن نوع آبیاری اختلاف معنی‌دار آماری را نشان نمی‌دهد و اثر متقابل آنها فقط در مشخصه مساحت تاج پوشش اختلاف معنی‌دار را نشان می‌دهد (جدول ۳).

در شرایط تحقیق حاضر در آبیاری با آب چاه، گونه آیلان از بیشترین میزان ارتفاع و زیتون تلخ از بیشترین میزان قطر یقه، قطر تاج پوشش، مساحت تاج پوشش و درصد شادابی برخوردار است. گونه اقاقیا از بیشترین میزان ارتفاع، سنجد از بیشترین میزان قطر یقه، زیتون تلخ از بیشترین میزان قطر تاج پوشش و مساحت تاج پوشش و زیتون تلخ و داغداغان از بیشترین میزان شادابی برخوردارند. کمترین میزان زنده‌مانی در هر نوع آبیاری در گونه افرا وجود دارد (جدول ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مشخصه‌های کمی و کیفی گونه‌های کشت شده تحت تیمارهای نوع آبیاری، گونه و اثر متقابل آنها، ۵ سال پس از کاشت

Table 3. Analysis of variance (Mean squares) of quantitative and qualitative characteristics of species cultivated under irrigation treatments, species and their interaction, 5 years after planting

منابع تغییرات	ارتفاع	قطر یقه	قطر تاج پوشش	مساحت تاج پوشش	زنده‌مانی	شادابی
نوع آبیاری	۱۷۲/۹۶^{ns}	۳۷۱/۴۹^{ns}	۷۸۳/۴۸^{ns}	۱۵۳۴۶۳۴۵/۵۱^{ns}	۱۶/۸۶^{ns}	۳۸/۱۳^{ns}
گونه	۲۱۵۵۶/۳۶**	۲۹۲۷/۵۹**	۳۳۱۱۴/۴۷**	۵۶۹۹۸۲۶۰۹/۵**	۳۳۳۷/۸۹**	۱۳۷۴/۵۵**
نوع آبیاری×گونه	۳۹۱/۸۸^{ns}	۴۸/۷۵^{ns}	۴۸/۲۶^{ns}	۱۳۸۶۱۱۱/۹^{ns}	۴۶/۶۲**	۱۰۴/۷۸^{ns}
خطا	۳۱۵/۶۸	۷۲/۷۲	۳۸۰/۳۲	۱۰۸۸۶۴۳۸/۸۳	۲/۹۱	۱۱۸/۵۵

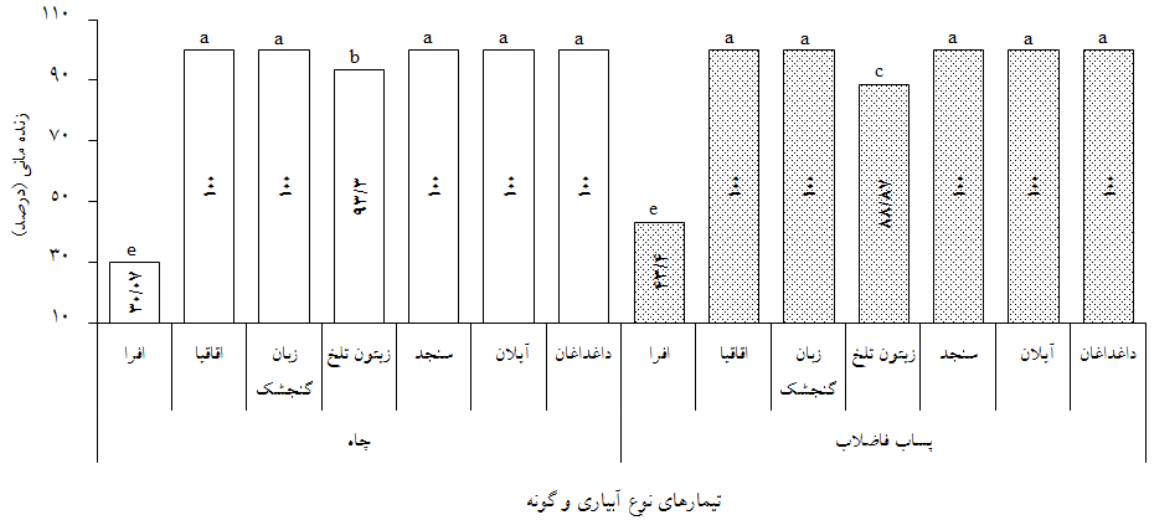
**= معنی‌دار در سطح ۹۹ ٪، *= معنی‌دار درسطح ۹۵ ٪، ^{ns}= عدم معنی‌داری

جدول ۴- مقایسه میانگین مشخصه‌های کمی و کیفی گونه‌های کشت شده ۵ سال پس از کاشت تحت تأثیر اثرات اصلی تیمارهای آبیاری و گونه

Table 4. Means comparison of quantitative and qualitative characteristics of species cultivated under main effects of irrigation and species for 5 years after planting

منابع تغییرات		ارتفاع (سانتی‌متر)	قطر یقه (سانتی‌متر)	قطر تاج پوشش (سانتی‌متر)	مساحت تاج پوشش (متر مربع در هکتار)	زنده‌مانی (درصد)	شادابی (درصد)
نوع آبیاری	گونه						
چاه	افرا	۱۵۱/۴۷d	۲۷/۵۷c	۷۶e	۲۰۱۸/۷f	۳۰/۰۷c	۴۶/۶۷c
	اقاقیا	۲۸۳/۸۷b	۵۰/۶۷b	۲۳۰/۶۷b	۱۸۵۹۹/۹۷b	۱۰۰a	۷۳/۳۳b
	زبان گنجشک	۲۵۱/۳۷c	۴۰/۱۳b	۱۶۴/۹۳c	۹۵۱۶/۱۶de	۱۰۰a	۹۳/۳۳ab
	زیتون تلخ	۲۶۹/۳bc	۶۷/۵۷a	۲۸۹/۳۳a	۲۹۵۶۶/۰۷a	۹۳/۳۳b	۱۰۰a
	سنجد	۲۶۶bc	۷۴/۶۴a	۲۲۴b	۱۷۶۸۶/۴۳bc	۱۰۰a	۸۶/۶۷ab
	آیلان	۳۰۸/۸۴a	۴۹/۱b	۱۸۲/۶۷c	۱۱۶۷۸/۷cd	۱۰۰a	۸۰ab
	داغداغان	۱۶۸/۷d	۱۹/۶۷c	۱۱۷/۳۳d	۴۸۹۳/۲۶ef	۱۰۰a	۱۰۰a
پساب فاضلاب	افرا	۱۵۳/۳d	۲۸/۳۳d	۷۶/۳e	۲۰۳۱/۱۲۳g	۴۳/۴c	۶۰c
	اقاقیا	۲۹۲/۶۶a	۵۶/۳۳c	۲۳۵/۶b	۱۹۳۶۵/۹c	۱۰۰a	۸۰b
	زبان گنجشک	۲۳۷/۳۳c	۴۹/۳۳c	۱۷۴/۶c	۱۰۶۳۵/۹۳e	۱۰۰a	۸۶/۶۷ab
	زیتون تلخ	۲۸۹/۳۳ab	۷۱/۳۳b	۳۰۲a	۳۱۸۲۰/۰۶a	۸۸/۸۷b	۹۳/۳۳a
	سنجد	۲۶۴/۳۳b	۹۱a	۲۴۱/۳b	۲۰۳۱۴/۳b	۱۰۰a	۸۰b
	آیلان	۲۸۱/۶۶ab	۵۵/۶۷c	۱۹۳/۳c	۱۳۰۳۶/۱۹d	۱۰۰a	۷۳/۳۳b
	داغداغان	۱۵۲/۵d	۱۹e	۱۲۲/۳d	۵۲۱۸/۴۳۲f	۱۰۰a	۹۳/۳۳a

اثرات متقابل نوع آبیاری و گونه بر درصد زنده‌مانی درختان پهن‌برگ اختلاف معنی‌دار آماری را نشان می‌دهد و کمترین درصد زنده‌مانی مربوط به گونه افرا در هر دو نوع آبیاری با آب چاه و پساب فاضلاب می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲- اثرات متقابل نوع آبیاری و گونه بر درصد زنده‌مانی درختان پهن برگ، ۵ سال پس از کاشت

Figure 2. Interaction effects of irrigation × species on percentage of survival of hardwood trees, 5 years after planting

بحث و نتیجه‌گیری

تجزیه شیمیایی پساب

فاکتورهای شیمیایی و میکروبی موجود در پساب خروجی برای آبیاری درختان نسبت به استانداردهای موجود WHO در محدوده مناسبی قرار دارند. بنابراین از نظر شیمیایی کاربرد پساب برای آبیاری درختان محدودیت خاصی ندارد. اگرچه از نظر پارامتر اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD) در مقایسه با حدود توصیه‌ای فراتر از حداکثر مقدار مجاز برای آبیاری بوده و دارای محدودیت شدید برای آبیاری می‌باشند. هدف WHO از تدوین چنین رهنمودها، تعیین شاخص‌های راهنما برای مهندسان طراح جهت انتخاب تکنولوژی‌های مناسب برای تصفیه فاضلاب و برای برنامه‌ریزها جهت انتخاب گزینه‌های برتر مدیریتی است (۱۲).

مقایسه ترسیب کربن در عمق‌های مختلف خاک تحت تأثیر نوع آبیاری

نتایج این تحقیق ثابت کرد که نوع آبیاری تأثیر بسیار زیادی در ترسیب کربن خاک دارد. بهبود کیفیت آب و خاک، کاهش هدررفت عناصر غذایی، کاهش فرسایش خاک، افزایش حفاظت آب و تولید محصول بیشتر از مزایای ترسیب کربن در خاک‌ها است. در تحقیق حاضر میزان ترسیب کربن خاک در منطقه جنگلکاری شده و آبیاری با پساب نسبت به قبل از کاشت درختان افزایش یافته ولیکن این افزایش در اعماق ۹۰-۶۰ سانتی‌متر دارای بیشترین مقدار است. شی و همکاران در سال ۲۰۰۹ با بررسی پتانسیل ترسیب کربن خاک مناطق فرسایش یافته چین، بیان کردند که با افزایش عمق خاک، پتانسیل ترسیب کربن در خاک کاهش می‌یابد (۱۳). ورامش و همکاران (۱۴)، لایه اول خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متری را به‌عنوان لایه‌ای که بیشترین ظرفیت قابلیت ترسیب کربن را دارد، معرفی کردند. با توجه به تراکم و حجم ریشه‌ها در عمق اول که بیشتر از عمق دوم است، همچنین تأثیر لاشبرگ روی عمق اول، این موضوع نیز قابل تفسیر است. وانی و همکاران در سال ۲۰۱۲ نیز بیان کردند که پتانسیل ترسیب کربن در منطقه فعالیت ریشه بیشتر است (۱۵)، اگرچه محققان بیشترین میزان ترسیب کربن را در اعماق سطحی خاک مشاهده کردند که با نتایج تحقیق حاضر مغایرت دارد ولیکن احتمالاً به‌دلیل بافت سبک خاک و نفوذپذیری زیاد آن در تحقیق حاضر بیشترین میزان ترسیب کربن در اعماق پایین‌تر وجود داشت.

میزان ترسیب کربن در واحد زمان به خصوصیات رشد گونه‌های گیاهی و شیوه‌های مدیریت، روش احیا و شرایط محیطی به‌ویژه

مقدار بارندگی، تغییر کاربری اراضی، شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک و ذخیره قبلی کربن در خاک بستگی دارد. ورامش و همکاران در سال ۱۳۹۳ مقدار ترسیب کربن خاک در توده‌های اقاقیا، سرو نقره‌ای و زمین بایر اطراف تهران را به‌ترتیب ۷۸/۱۹، ۶۰ و ۱۰/۸۲ تن در هکتار در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری توده‌های جنگلکاری شده در مقایسه با عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متری نتیجه گرفتند (۱۴)، بین مقدار ترسیب کربن خاک در نواحی خشک و نیمه خشک و عمق خاک رابطهٔ غیرمستقیم وجود دارد و دلیل آن را می‌توان روند تدریجی تجزیهٔ لاشبرگ و تبدیل آن به هوموس که از لایه‌های سطحی خاک آغاز می‌شود دانست.

بررسی مشخصه‌های کمی و کیفی گونه‌ها

در مراحل اولیه استقرار درختان در عرصه کاشت، با توجه به انتقال آنها از گلدان به خاک و تغییر مکان، نهال‌ها نیاز به شرایط مناسب دارند تا بتوانند با شرایط منطقه سازگار شوند. عوامل متعددی از جمله گرمای شدید تابستان و حساسیت به میزان املاح موجود در آب آبیاری بر میزان استقرار نهال‌ها در سال‌های اولیه دخالت دارند. به‌طوری‌که افزایش دما تا حداکثر مطلق ۴۴ درجه سانتی‌گراد در تیرماه، شرایط را برای خشک شدن برخی از پایه‌های افرا فراهم نمود. احتمال اثرات متقابل مواد مسموم کننده موجود در پساب با گرما در خشک کردن پایه‌هایی از گونه‌ها وجود دارد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که گونه‌های ذکر شده در چنین شرایطی می‌توانند رفتارهای متفاوتی را از لحاظ میزان رشد نشان دهند. در مطالعات متعدد مشخص شده است که افزایش عناصر تغذیه‌ای خاک در اثر آبیاری با فاضلاب و دسترسی گیاه به غلظت زیاد عناصر مغذی ماکرو و میکرو فاضلاب شهری، سبب افزایش میزان رشد درختان می‌شود (۱۶). در واقع آبیاری با فاضلاب سبب تسهیل برگ‌دهی و در نتیجه افزایش تعداد برگ (از طریق تأثیر بر جریان فیزیولوژیک) در گیاه و جذب بیشتر انرژی خورشید می‌شود و فرآیند متابولیسم و جذب بیشتر دی اکسید کربن سبب افزایش رشد گیاه می‌شود (۹). صالحی و همکاران در سال ۱۳۸۷ نتیجه گرفتند که غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم و مشخصه‌های رویشی درختان کاج تهران به‌دلیل بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در خاک تیمار شده با فاضلاب شهری بیشتر از خاک تیمار شده با آب چاه بوده است (۱).

در پژوهش حاضر اثر اصلی نوع آبیاری در هر یک از مشخصه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌دار آماری را نشان نداد که می‌توان با بررسی آزمایش در دوره طولانی‌تر، با قطعیت تفاوت رشد درختان در دو نوع آبیاری را مقایسه نمود. اگرچه میزان ترسیب کربن در عرصه جنگلکاری شده با پساب فاضلاب بیشتر است ولیکن در شرایط کنونی نمی‌توان اظهار نظر کرد پساب چه تأثیری روی رشد و درصد زنده‌مانی گونه‌ها داشته است. گونه زیتون تلخ از سازگارترین گونه‌ها در تحقیق حاضر می‌باشد که برای کشت در عرصه مزبور پیشنهاد می‌شود و در مراحل بعدی گونه‌های اقاقیا، سنجد، زبان گنجشک و آیلان با احتیاط و در وسعت کم کشت شوند.

Reference

1. Salehi, A., Tabari, M., Mohammadi, J., Aliarb, A., 2008. Effect of irrigation with municipal effluent on soil and growth of *Pinus eldarica* Medw. trees. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, Vol. 16, No. 2, pp. 186-196. (In Persian)
2. Laclau. P., 2003. Biomass and carbon sequestration of ponderosa pine plantations and native cypress forests in Northwest Patagonia. Forest Ecology and Management, Vol. 180, No. 1-3, pp. 317-333.
3. Harrison, K.G., Broecker, W.S., Bonani, G., 1993. The effect of changing land use on soil radio carbon. Science, Vol. 262, pp.725-726.
4. Jackson, R.B., Banner, J.L., Jobbagy, E.G., Pockman, W.T., Wall, D.H., 2002. Ecosystem carbon loss with woody plant invasion of grasslands. Nature, Vol. 418, pp. 1-7.
5. Stewart, H.T.L., Flinn, D.W., 1984. Establishment and early growth of

trees irrigated with wastewater at four sites in Victoria, Australia. Forest Ecology and Management, Vol. 8, pp. 243-256.

6. Phillips, R., Fisher, J.T., Mexal, J.G., 1986. Fuelwood production utilizing *Pinus eldarica* and sewage sludge fertilizer. Forest Ecology and Management, Vol. 16, pp. 95-102.
7. Hopmans, P., Stewart, H.T.L., Flinn, D.W., Hillman, T.J., 1990. Growth biomass production and nutrient accumulation by seven tree species irrigated with municipal effluent at Wodonga Australia. Forest Ecology and Management, Vol. 30, pp. 203-211.
8. Singh, G., Bahati, M., 2003. Growth and mineral accumulation in *Eucalyptus camaldulensis* seedlings irrigated with mixed industrial effluents. Bioresource Technology, Vol. 88, pp. 221-228.
9. Sing, G., Bhati, M., 2004. Soil and plant mineral composition and productivity of *Acacia nilotica* (L.) under irrigation with municipal effluent in an arid environment. Environmental Conservation, Vol. 31, pp. 331-338.
10. Rad, M.h., Sardabi, H., Soltani, M., Ghelmani, S.V., 2014. Compatibility of different *Eucalyptus* species and provenances under sewage irrigation using Yazd city wastewater treatment plant effluent. Journal of Water and Wastewater, Vol. 1, No. 1, pp. 85-94. (In Persian)
11. Keneshloo, H., 2004. Effects of pruning intensity on vitality of *Pinus eldarica* plantation at west Tehran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, Vol. 12, No. 1, pp. 111-140. (In Persian)
12. Mahida, N.U., 1981. Water pollution and disposal of wastewater on land. New Delhi, Tata McGraw-Hill.
13. Shi, X.Z., Wang, H.J., Yu, D.S., David., W., Cheng, X.F., Pan, X.Z., Sun, W.X., Chen, J.M., 2009. Potential for soil carbon sequestration of eroded areas in subtropical China. Soil & Tillage Research, Vol. 105, No. 2, pp. 322-327.
14. Varamesh, S., Hosseini, S.M., Sefidi, k., 2015. Assessment of carbon sequestration content in biomass, *Robinia pseudoacacia* and *Cupressus arizonica* stands around Tehran. Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 16, pp. 343-352. (In Persian)
15. Wani, S.P., Girish, C.h., Sahrawat, K.L., Srinivasa Rao, Ch., Raghvendra, G., Susanna, P., Pavani, M., 2012. Carbon sequestration and land rehabilitation through *Jatropha curcas* (L.) plantation in degraded lands, Agriculture. Ecosystems & Environment, Vol. 161, pp. 112-120.
16. Keller, C., Grath, S.P.Mc., Dunham, S.J., 2002. Trace metal leaching through a soil grassland system after sewage sludge application. Journal of Environmental Quality, Vol. 31, pp. 1550-1560.